



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - Uniceub
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

THIAGO LIMA DE MENEZES

AUTOMAÇÃO PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE
AQUECIMENTO SOLAR

BRASÍLIA – DF
2º SEMESTRE DE 2013

THIAGO LIMA DE MENEZES

AUTOMAÇÃO PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE
AQUECIMENTO SOLAR

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília (UniCEUB) como
pré-requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão de Curso de
Engenharia da Computação.

Orientador: Prof.^a. MSc. Maria Marony
Sousa Farias

Brasília

Dezembro, 2013

THIAGO LIMA DE MENEZES

AUTOMAÇÃO PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE
AQUECIMENTO SOLAR

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília (UniCEUB) como
pré-requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão de Curso de
Engenharia da Computação.

Orientador: Prof.^a. MSc. Maria Marony
Sousa Farias

Brasília, Dezembro, 2013

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a MSc. Maria Marony Sousa Farias

Orientadora

Prof. Dr. Sidney Cerqueira Bispo dos Santos

Prof. MSc. Marco Antonio Araujo

Prof. MSc. Flávio Antonio Klein

Dedico este trabalho aos meus pais, Cloves e Claudia Menezes que sempre me ensinaram a buscar mais conhecimentos, mais desafios e a me virar sozinho sempre que possível, à minha noiva Agnes que sempre me apoiou em todos os meus projetos e que sem esse apoio não chegaria onde estou hoje.

Thiago Lima de Menezes

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, saúde e disposição de encarar os desafios diários e a meus pais por seus ensinamentos valiosos.

Agradeço a minha noiva, Agnes Voigt, por estar sempre ao meu lado, por me dar o suporte que sempre precisei e por sonhar junto comigo.

Agradeço também ao meu amigo de faculdade José Carlos, que sempre respondeu com paciência minhas perguntas e sempre me ajudou quando precisei, e que além de tudo, me ensinou que quando se quer algo, nem o tempo e nem os desafios e obstáculos colocados pelo mundo de hoje podem te desanimar.

Ao professor Luciano Duque, que sempre tão acessível, me ajudou muito durante a realização deste trabalho.

A minha orientadora Prof.^a. MSc. Maria Marony Sousa Farias, que com muita paciência e muitas conversas me ajudou nesta caminhada.

Obrigado!

Thiago Menezes

“...É porque pensa que é o que fala, que o guerreiro acaba se transformando no que diz...”.

Manual do Guerreiro da Luz - Paulo Coelho

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivo Geral.....	15
1.3 Objetivos Específicos	15
1.4 Escopo	15
1.5 Resultados Esperados.....	16
1.6 Estruturas do trabalho	17
CAPÍTULO 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
2.1 Sistema de Aquecimento Solar.....	18
2.1.1 História do sistema de aquecimento solar	18
2.2 Cenário do problema no sistema de aquecimento solar	19
CAPÍTULO 3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 Arduino UNO com ATmega328	21
3.2 LM35DZ.....	26
3.3 Módulo de Relés.....	27
3.4 Sistema de Aquecimento Solar.....	28
3.4.1 Sistema de termossifão.....	28
3.4.2 Sistema de Circulação Forçada	29
3.5 Perda de calor na tubulação	29
3.6 Reservatório Térmico (Boiler)	30
3.7 Automação para chuveiros elétricos	31
CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	32
4.1 Modelo proposto de automação para chuveiros elétricos	32
4.2 Software de controle de temperatura e automação - Arduino	33
4.3 Montagem do Hardware	35
CAPÍTULO 5 TESTES E RESULTADOS.....	37
5.1 Testes Realizados para o Protótipo	37
5.1.1 Primeiro Cenário - Teste seco	37
5.1.2 Segundo Cenário - Teste na água	40
5.1.3 Terceiro Cenário - Teste seco com energia elétrica.....	42
5.1.4 Quarto Cenário - Teste na água com energia elétrica.....	43
5.2 Dificuldades Encontradas / Soluções.....	45
5.2.1 Sensor LM35	45

5.3	Resultados Obtidos	46
5.3.1	Leitura das temperaturas	46
5.4	Protótipo	48
5.5	Produto Gerado	50
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES		51
6.1	Conclusões.....	51
6.2	Sugestões para Futuros Projetos.....	52
REFERÊNCIAS		53
APÊNDICE - A.....		54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Modelo comum de aquecimento solar em residências	14
Figura 2.1 - Sistema de Aquecimento Solar Residencial	20
Figura 3.1 - Placa do Arduino vista superior	21
Figura 3.2 - Placa do Arduino vista superior com zoom Entradas Analógicas	22
Figura 3.3 - Placa do Arduino vista superior com zoom Entradas Digitais	23
Figura 3.4 - Esquema Elétrico Arduino Uno	24
Figura 3.5 - Espaço de Desenvolvimento do Arduino	25
Figura 3.6 - Sensor LM35 no protoboard	26
Figura 3.7 - Datasheet LM35.....	27
Figura 3.8 - Módulo de Relés	27
Figura 3.9 - Ilustração termossifão	28
Figura 3.10 - Ilustração Circulação Forçada	29
Figura 3.11 - Ilustração Boiler	30
Figura 4.1 - Modelo Geral	33
Figura 4.2 - Esquemático da Montagem do Hardware	35
Figura 4.3 - Esquema Arduino - Relé - Lâmpada	36
Figura 5.1 - Leitura de Temperatura ambiente do primeiro cenário	38
Figura 5.2 - Comparativo sensor LM35 e Smartphone.....	39
Figura 5.3 - Gráfico de temperatura do primeiro cenário.....	40
Figura 5.4 - Leitura de temperatura ambiente do segundo cenário.....	41
Figura 5.5 - Gráfico de temperatura do segundo cenário.....	42
Figura 5.6 - Gráfico de temperatura do terceiro cenário.....	43
Figura 5.7 - Gráfico de temperatura do quarto cenário	44
Figura 5.8 - Gráfico de leitura de temperatura.....	47
Figura 5.9 - Protótipo e circuito elétrico.....	48
Figura 5.10 - LM35 mergulhado na água	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Materiais/Valores.....	50
-------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDE	Integrated Development Environment
LED	Diodo Emissor de Luz
V	Volts

RESUMO

A proposta deste trabalho é, no âmbito de automação residencial, melhorar o sistema de aquecimento solar baseado no armazenamento de água aquecida em boiler, fazendo com que o usuário não sinta o desconforto de não ter água quente em 100% do tempo em que abre o registro para tomar banho, já que a água fria que fica parada na tubulação demora um considerável tempo para ser expulsa pelo chuveiro. O sistema proposto consiste num sensor de temperatura LM35 que irá fazer a leitura da temperatura da água num ponto imediatamente antes da chegada ao chuveiro, enviando esta leitura para o microcontrolador Arduino UNO que interpretará este valor e acionará ou não um chuveiro elétrico, por meio de um relé (I/O). São utilizados neste projeto componentes de baixo custo e de fácil acesso que viabilizam sua introdução nas residências que já possuem alguma das soluções de aquecimento solar mais comumente comercializadas.

Palavras Chave: Automação residencial, aquecimento Solar, sensor LM35, Arduino UNO.

ABSTRACT

The purpose of this work is in the context of home automation, improve solar heating systems based on storage hot water in Boiler, making that the user does not feel the discomfort of do not have hot water at 100% of time in their shower, as the cold water that get stuck in the pipe takes a considerable time to be expelled through the shower. The proposed system consists of a LM35 temperature sensor will read the water temperature at a point immediately before reaching the shower sending this read to the microcontroller Arduino UNO and interpret this value to trigger or not an electric shower through a relay (I / O). Components used in this project are low cost and easy to access that enable its introduction in homes that already have some of the solar heating solutions most common sold.

Keywords: Home Automation, solar Heating, LM35 sensor, Arduino UNO.

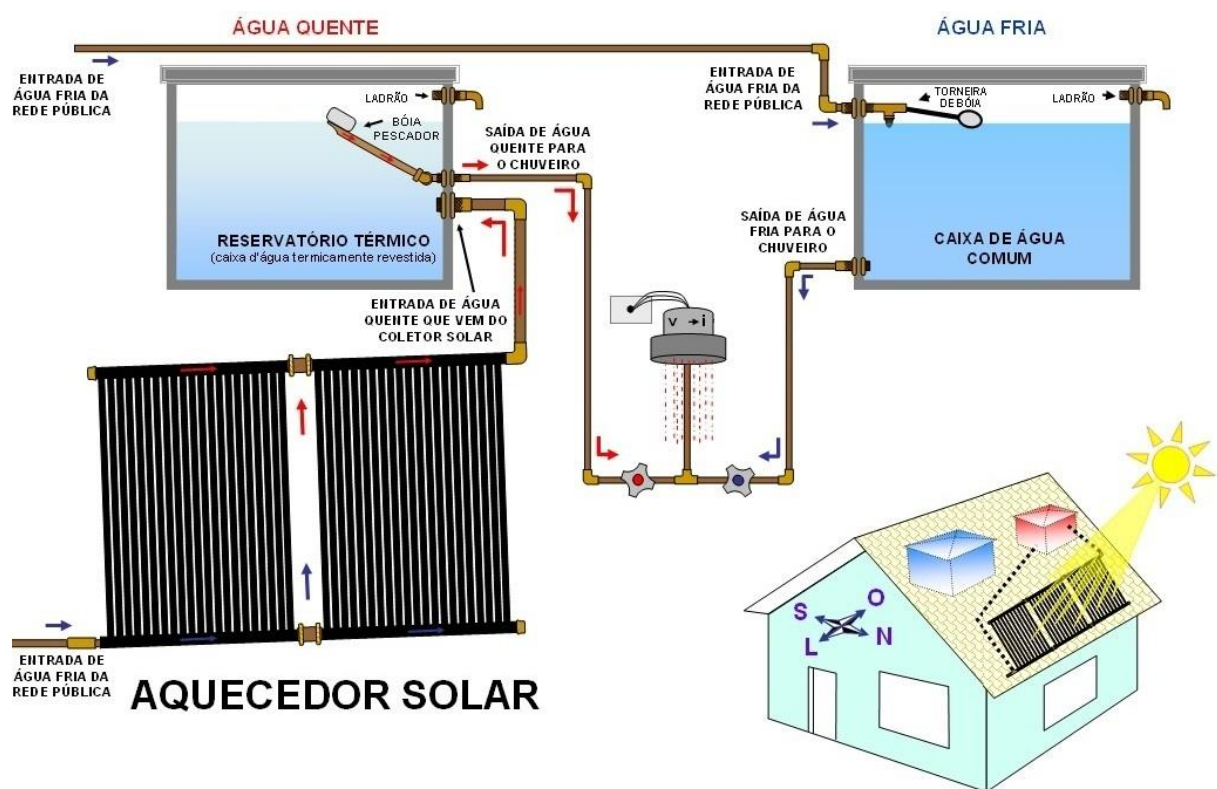
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Este projeto tem como motivação desenhar e desenvolver um sistema auxiliar ao sistema de aquecimento solar que venha a trazer um maior conforto aos moradores de uma residência. Estes usuários podem despende um enorme tempo de espera durante o momento do banho visto que a distância entre seu banheiro e o tanque térmico (Boiler) pode ser grande, fazendo com que a água do encanamento esfrie durante grandes períodos de inatividade.

Pensando neste cenário, neste projeto é apresentada a proposta de um sistema que realiza leituras da temperatura da água e que baseado num parâmetro, diminui o tempo de espera do usuário por água quente.

Na Figura 1.1 é apresentado o modelo atual e mais comum de aquecimento solar de uso residencial.



**Figura 1.1 - Modelo comum de aquecimento solar em residências
(Autor: Thiago Menezes)**

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema, hardware e software, que venha a ser somado ao sistema de aquecimento de água por meio de energia solar, trazendo conforto para os usuários nos seus banhos realizando a leitura e interpretação da temperatura e tomando a decisão de usar ou não a energia.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos pautam-se em:

- Desenvolvimento de software que analisará dados de entrada e tomará decisão baseado em parâmetros;
- Desenvolvimento de um hardware composto por um Arduino Uno, um sensor de temperatura LM35 e um módulo de relés;
- Gravar no Arduino Uno o software desenvolvido para que ocorram os testes de leitura com base no parâmetro e os valores captados no sensor de temperatura LM35 e ligar ou desligar a lâmpada através do módulo de relés;
- Funcionamento automatizado do sistema com o sensor de temperatura mergulhado na água e o Arduino enviando sinal ao módulo de relés para ligar ou desligar uma lâmpada elétrica de 220 Volts.

1.4 Escopo

O escopo deste projeto consiste em construir um protótipo que realize a leitura de temperatura da água e ligue ou desligue o circuito do chuveiro elétrico de acordo com a lógica desenvolvida avaliando se a temperatura lida é maior ou menor do que o parâmetro informado.

Todo o projeto de parte eletrônica será desenvolvido utilizando ambiente IDE Arduino e linguagem C.

O projeto não contempla o desenvolvimento de sistema para sugerir, temperar ou equalizar a temperatura da água. O sistema é desenhado especificamente para sistemas residenciais de aquecimento de água com energia solar que em sua saída tenham um chuveiro elétrico.

1.5 Resultados Esperados

Espera-se deste projeto que seja criado um protótipo que realize leituras da temperatura da água e acione ou não um circuito elétrico ligado ao módulo de relés baseado no resultado do teste realizado entre a temperatura lida e a temperatura de parâmetro pelo software desenvolvido.

É esperado um produto que se possa inserir em sistemas residenciais de aquecimento de água por energia solar para assim trazer um maior conforto aos usuários destes tipos de soluções. Que seu custo seja economicamente viável no contexto ao qual está se inserindo.

1.6 Estruturas do trabalho

A estrutura do trabalho se divide nos seguintes capítulos:

CAPÍTULO 2: Apresentação do problema e o cenário em que o problema é percebido.

CAPÍTULO 3: É apresentado o referencial teórico sobre o protótipo para automação bem como os componentes utilizados neste.

CAPÍTULO 4: Neste capítulo é mostrado o desenvolvimento do protótipo, a descrição do desenvolvimento e a descrição dos recursos utilizados.

CAPÍTULO 5: São apresentados os testes realizados no protótipo bem como os resultados obtidos.

CAPÍTULO 6: As conclusões e sugestões para futuros projetos.

CAPÍTULO 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta o histórico e um descritivo do sistema de aquecimento solar residencial mais comum utilizado hoje em dia. É exemplificado o problema da demora para a água quente sair do tanque térmico até chegar no chuveiro.

2.1 Sistema de Aquecimento Solar

2.1.1 História do sistema de aquecimento solar

O primeiro a patentear um sistema de aquecimento solar foi o Americano Clarence M. Kemp, que em 28 de Abril de 1981 registrou a patente de número 451,384 no Departamento de Patentes dos Estados Unidos (United States Patent Office). O aparelho criado por Clarence consistia em tanques numa caixa de vidro que exporia a água aos raios do sol fazendo assim com que a mesma ficasse aquecida.

Segundo Kemp (1891, p. 3):

O objetivo desta invenção é utilizar os raios solares para aquecer a água para o banho e para outros fins domésticos, e a invenção consiste, principalmente, em expor tanques contendo água dentro de uma caixa coberta de vidro aos raios de calor do sol e no fornecimento dos ditos tanques com tubos apropriados em que a água é conduzida a passar de um tanque para o outro e, finalmente, ser descarregado em estado aquecido.

O sistema de aquecimento solar veio desde então se aprimorando e se comparado a sistemas de aquecimento de água a gás ou elétrico é a melhor opção no Brasil, visto que na maior parte do ano os dias são ensolarados nos 26 estados.

Aliado a uma preocupação global com sustentabilidade, um cada vez menor impacto ao meio ambiente e a um custo relativamente baixo no montante do projeto de construção, este sistema tende a ser cada vez mais utilizado em novas construções e evoluções de construções antigas.

Atualmente, os sistemas de aquecimento de água por energia solar mais comumente utilizados são compostos basicamente por placas coletoras de calor do

sol, tubulações de cobre e pelo menos um boiler. O calor do sol captado é transmitido a água que passa por dentro dos coletores por tubulações de cobre, esta água aquecida chega ao boiler, que em sua maioria são construídos por aço inox ou cobre isolado por uma espuma térmica de *poliuretano* expandido e revestido por chapa de alumínio, depois do boiler, a água aquecida é enviada pela tubulação de cobre a toda residência para consumo.

2.2 Cenário do problema no sistema de aquecimento solar

Os projetos de aquecimento de água por energia solar, em sua maioria, buscam deixar o boiler no centro da residência, para tentar igualar a distância entre os cômodos (banheiros, cozinha, lavanderia e etc.) mais distantes. A água que fica na tubulação de cobre sofre um resfriamento natural perdendo calor para o ambiente, assim, quanto mais longe o cômodo é do tanque, maior irá ser o tempo que o usuário terá que esperar para que a água aquecida chegue até ele.

Na Figura 2.1, o boiler fornece água quente a três requisitores diferentes (banheira, torneira e chuveiro) cada um mais distante da fonte. É possível ter a idéia "distância x tempo", quanto mais longe o requisitor estiver do boiler, maior será a quantidade de água fria acumulada no encanamento e maior será o tempo em que o usuário terá que esperar para a água quente chegue resultando num desconforto e num desperdício de água.

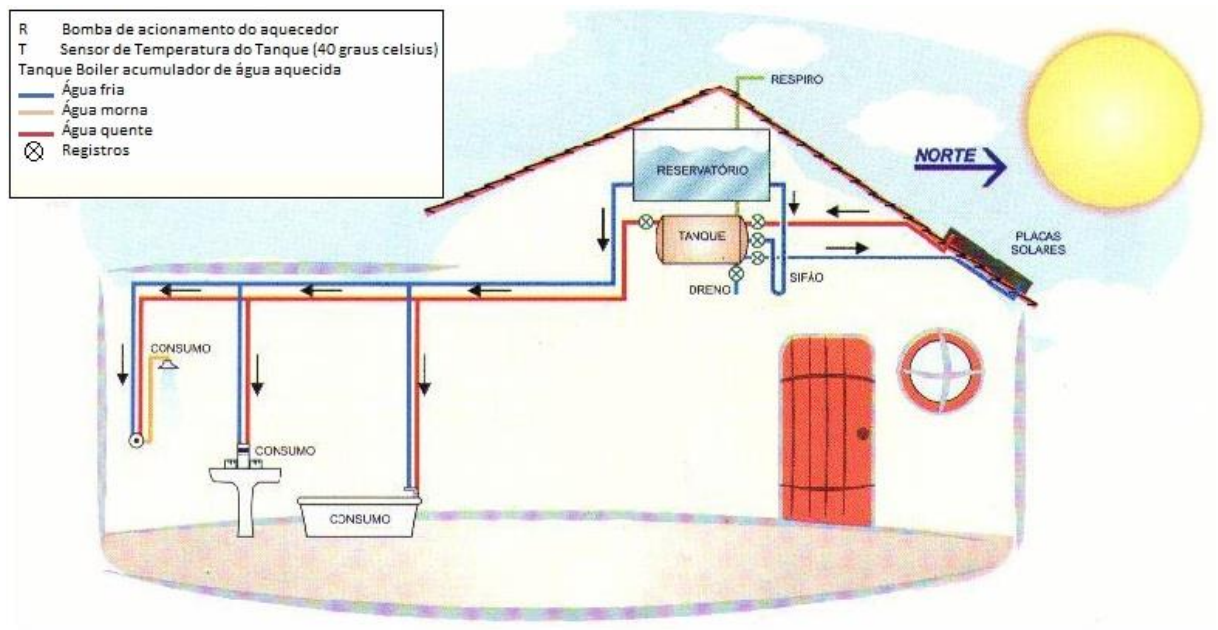


Figura 2.1 - Sistema de Aquecimento Solar Residencial
 (Fonte: <http://www.solargas.xpg.com.br/>)

CAPÍTULO 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a aplicação dos conceitos teóricos, tratados no Capítulo 2, envolvidos na construção do protótipo.

3.1 Arduino UNO com ATmega328

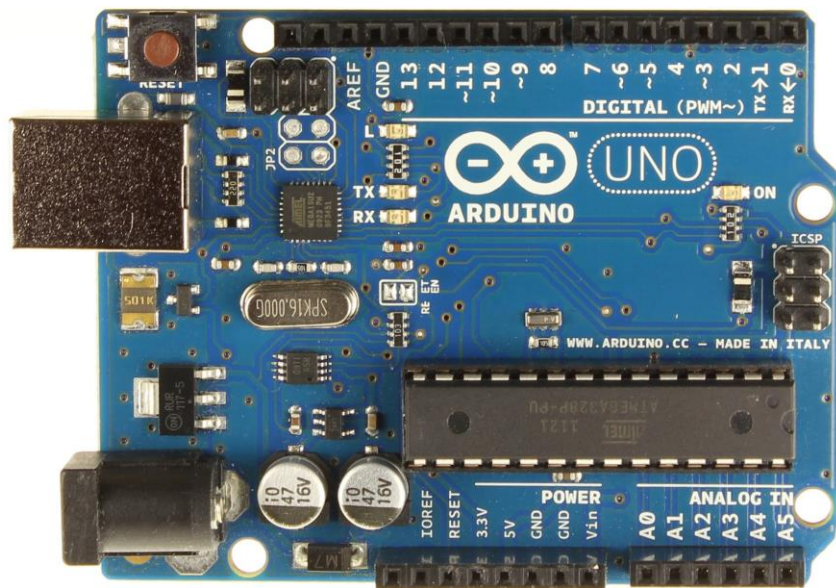


Figura 3.1 - Placa do Arduino vista superior
(Fonte: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)

O Arduino UNO, que pode ser visto na Figura 3.1, é uma placa para microcontrolador que possui 14 pinos de entradas/saídas. Utiliza o chip 8-bit megaAVR de arquitetura RISC produzido pela ATMEL nomeado ATmega328.

A placa ganhou o nome de UNO em referência a UM em Italiano para marcar uma nova etapa do projeto, e ser o modelo de referência para a plataforma Arduino.

Esta versão tem um diferencial comparado as placas que a antecedem, pois carrega o chip Atmega8U2 que está como conversor de USB para serial. Já nas antecessoras havia um chip FTDI que convertia o sinal serial. Além disso, a placa pode ter dois tipos de alimentação que tem como recomendação a utilização de 7 a 5 V, pelo cabo USB ou por fonte externa (adaptador CA para CC ou a Bateria), esta

alimentação é escolhida automaticamente. O seu limite de alimentação de entrada é de 6 a 20V. A corrente CC por pino de entrada e saída é de 40mA e para o pino 3,3V é de 50mA. A velocidade de clock é de 16 MHz. Há um botão de reset e uma interface de comunicação USB.

Se tratando de memória, o microcontrolador ATmega328 têm 2KB de SRAM, 1KB de EEPROM e 32KB de Memória Flash.

O Arduino Uno possui 6 entradas analógicas (A0 - A5), representadas na Figura 3.2. Estas entradas aceitam vários valores de tensão, estes valores são infinitos na faixa de 0V a 5V. A precisão da medição de tensão é em torno de 0,005V, isto porque os conversores Analógico-Digital do Arduino possuem 10 bits de precisão. Por isso também, os valores de leitura analógica ganham 1024 possibilidades.

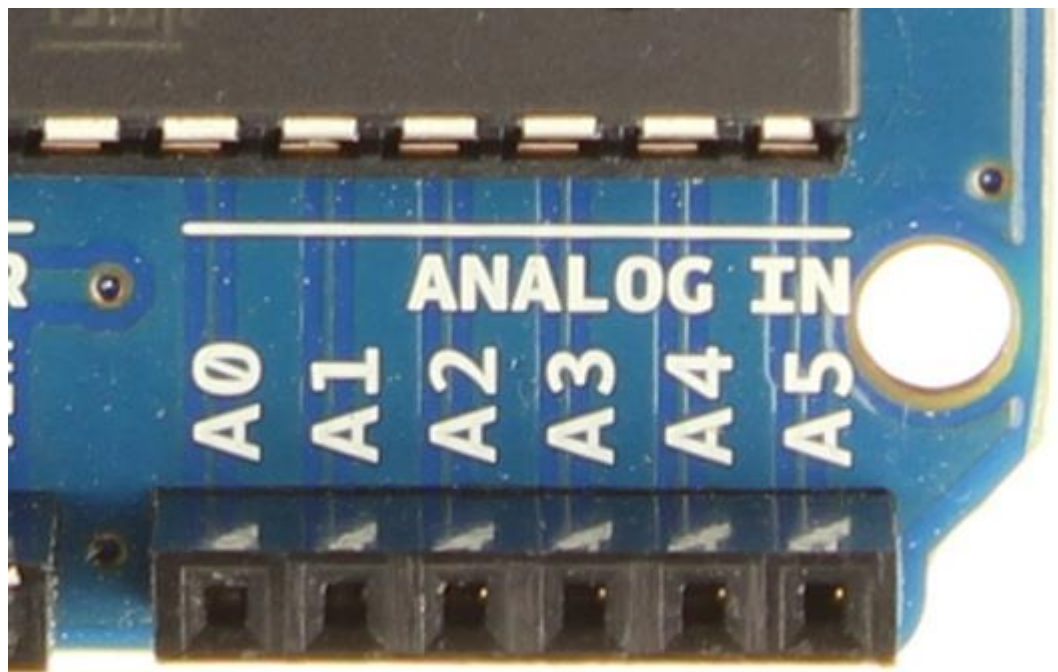


Figura 3.2 - Placa do Arduino vista superior com zoom Entradas Analógicas
(Fonte: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)

Há 14 pinos de entrada/saída digitais na placa do Arduino Uno, estes pinos tem uma tensão de 5V, uma corrente de no máximo 40mA e um resistor interno pull-up de 20-50k(ohm) e podem ser vistos na Figura 3.3.

Alguns pinos tem funções especiais, como Seriais, PWM, SPI, LED:

Serial: receber dados seriais TTL RX(0), transmitir dados seriais TTL TX(1).

PWM: as portas 3, 5, 6, 9, 10, e 11 oferecem uma saída lógica PWM 8bit utilizando a função `analogWrite()` no código a ser inserido no Arduino.

SPI: as portas 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO) e 13(SCK) oferecem suporte a comunicação SPI, porém, não está incluída na linguagem de programação para o Arduino.

LED: a placa fornece um LED conectado ao pino 13, facilitando assim simulações e testes.

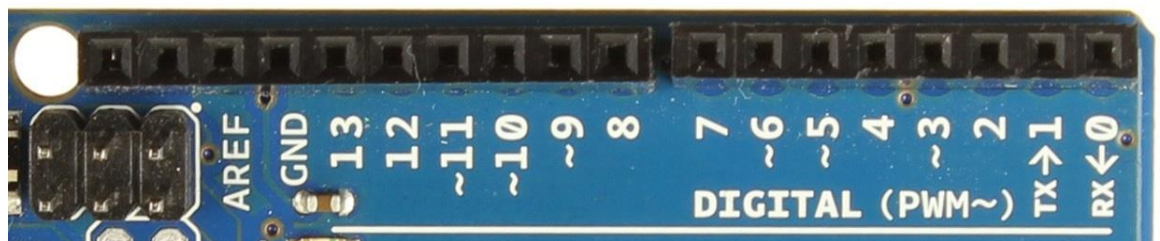


Figura 3.3 - Placa do Arduino vista superior com zoom Entradas Digitais
(Fonte: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)

Na Figura 3.4 é possível ver o esquema elétrico do Arduino Uno.

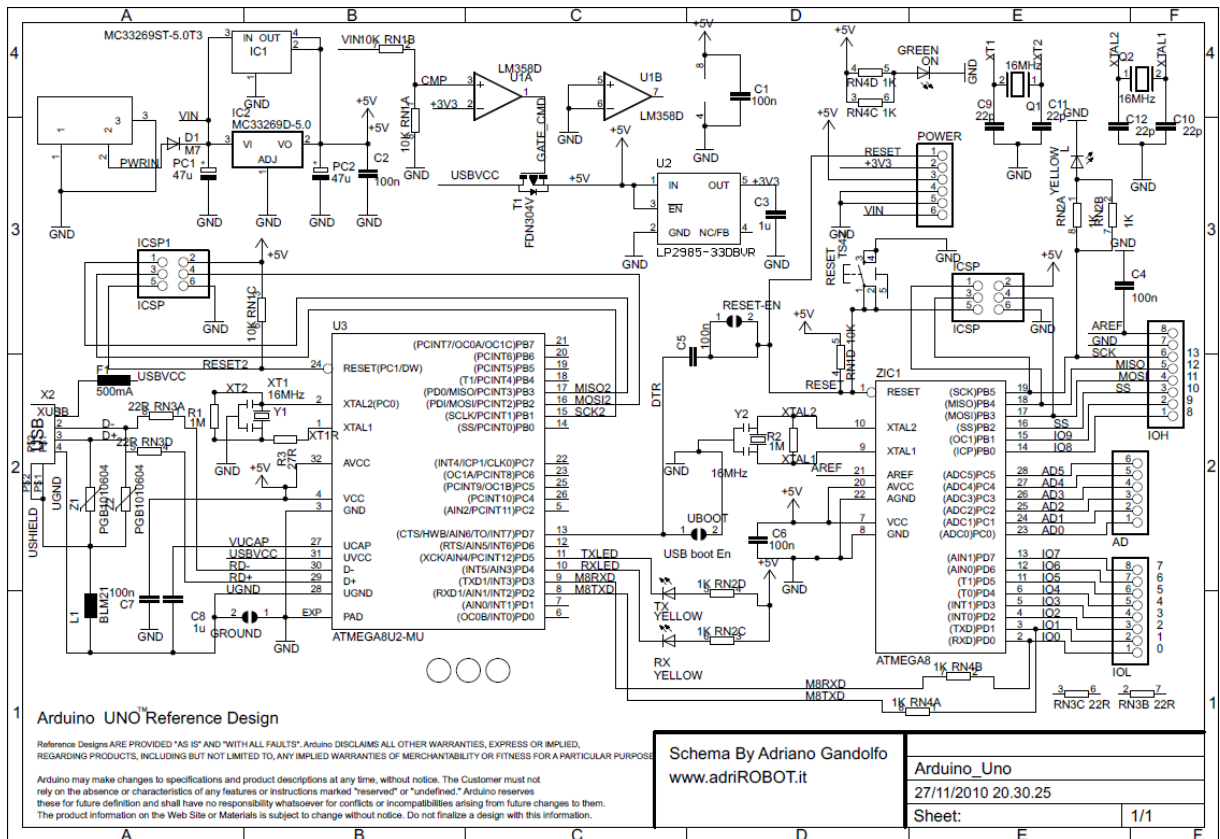


Figura 3.4 - Esquema Eléctrico Arduíno Uno
(Fonte: http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduínoUno_R3_Front.jpg)

Para a programação do microcontrolador Arduíno, utiliza-se a IDE Arduíno desenvolvida como software livre. A IDE Arduíno permite que seja desenvolvido a programação baseada em Linguagem C e C++, compilar e testar o código, além de ser possível gravá-lo no microcontrolador. São disponibilizadas algumas bibliotecas além de ser possível adicionar bibliotecas disponíveis por outros desenvolvedores e desenvolver por si só quando necessário. Na Figura 3.5 é apresentado o espaço de desenvolvimento para o microcontrolador Arduíno.

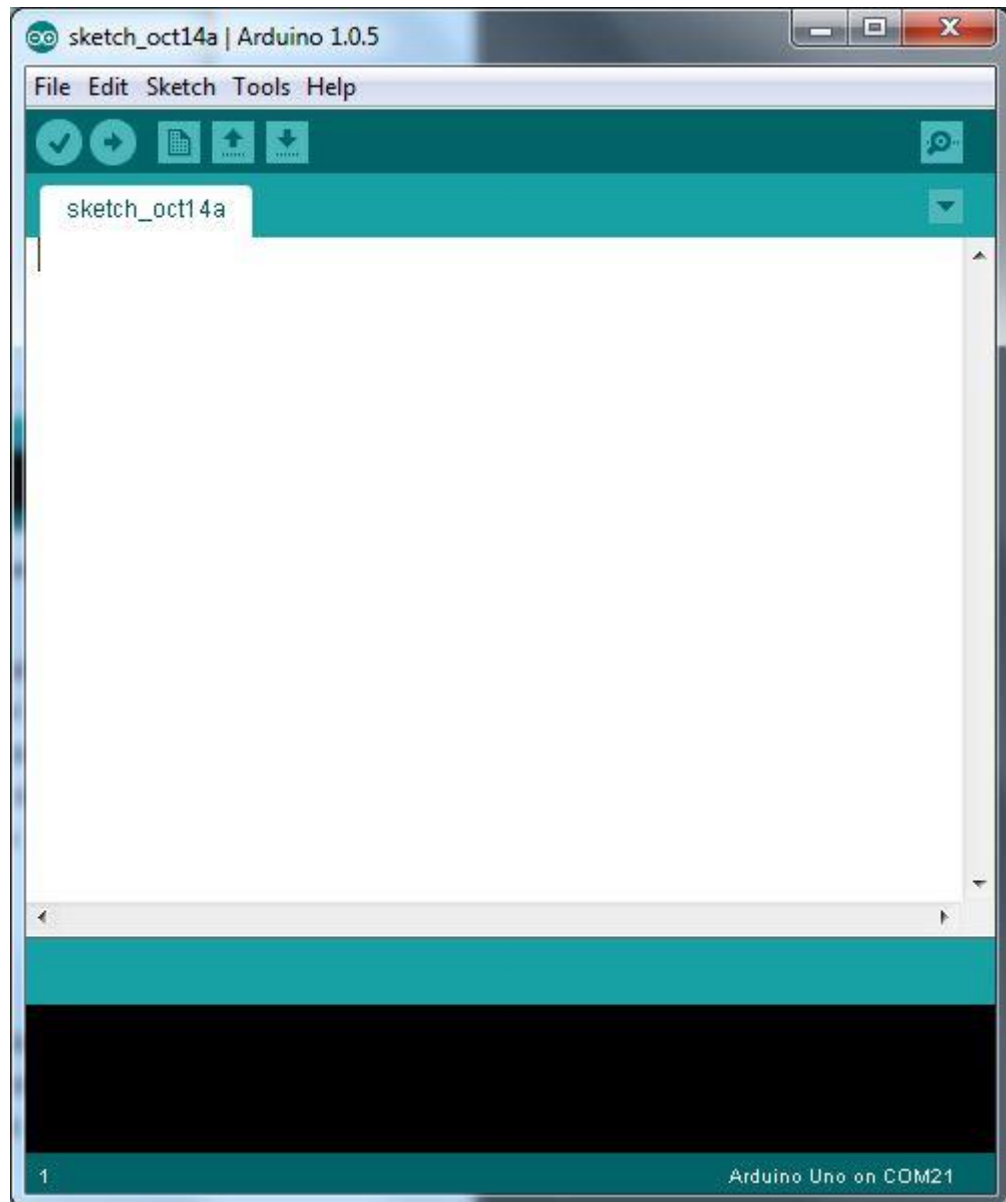


Figura 3.5 - Espaço de Desenvolvimento do Arduino
(Autor: Thiago Menezes)

O Arduino foi escolhido por oferecer um baixo custo, uma baixa complexidade no desenvolvimento tanto do código fonte do projeto quanto do modelo físico, além disto há a disponibilidade de muito material para aprendizagem e fóruns de discussões e auto-aprendizagem.

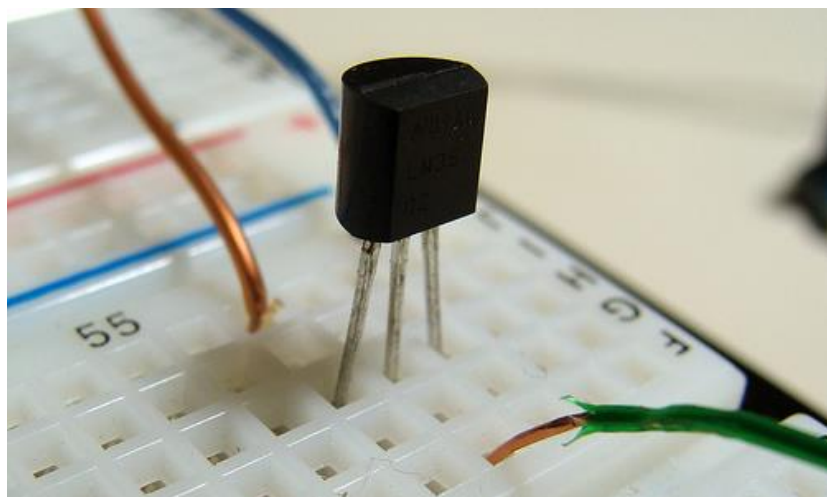
3.2 LM35DZ

O sensor de temperatura LM35DZ, fabricado pela National Semicondutor, é um termômetro sensível e preciso, que resulta numa voltagem de saída analógica e em sua saída tem tensão linear com equivalência de 10mV para cada Grau Celsius.

O sensor LM35 possui vários tipos de encapsulamentos devido sua alta aplicabilidade bem como a facilidade de adaptação em projetos. O encapsulamento mais comum é o TO-92, que se assemelha a um transistor, e é o modelo mais barato mantendo a mesma precisão dos outros modelos. Sua abrangência vai de -55°C até $+150^{\circ}\text{C}$ com uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. É alimentado por uma tensão de 4 a 20V DC e GND, utiliza apenas 60 μA para suas alimentações, sendo seu auto-aquecimento de aproximadamente 0.1 $^{\circ}\text{C}$ ao ar livre.

O sensor LM35 possui algumas facilidades como características que corroboraram para que fosse escolhido para fazer parte deste projeto, o fato de ser calibrado em graus Celsius, de que acima de 25°C sua precisão é de $0,5^{\circ}\text{C}$, e de possuir uma impedância de saída baixa sendo de 0,1 W para 1 mA de carga.

Na Figura 3.6 é apresentado o sensor LM35 e na Figura 3.7 suas conexões.



**Figura 3.6 - Sensor LM35 no protoboard
(Autor: Thiago Menezes)**

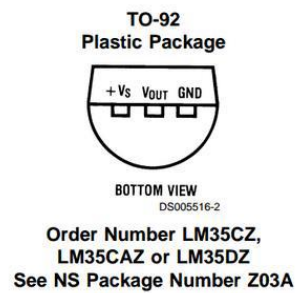


Figura 3.7 - Datasheet LM35
(Fonte: National Semiconductor)

3.3 Módulo de Relés

O módulo de relés pode ser conectado diretamente na placa do Arduino por ter uma baixa corrente de entrada; por usar uma tensão de alimentação de 5V; conter 4 canais de corrente de 10 A em 250 V AC ou 30 V DC nos contatos; e ser compatível com nível TTL(5V).

Na Figura 3.8 é apresentado o módulo de relés utilizado neste projeto.



Figura 3.8 - Módulo de Relés
(Autor: Thiago Menezes)

3.4 Sistema de Aquecimento Solar

Existem dois principais modelos de sistemas de aquecimento solar. O primeiro deles é o modelo de Circulação em Termossifão e o outro é o de Circulação Forçada.

3.4.1 Sistema de termossifão

O Sistema de Termossifão funciona levando em consideração a diferença de densidade da água em relação a temperatura. A água mais aquecida é menos densa que a água fria. Sendo assim, quando a água é aquecida no coletor solar, entra por "Depósito" no Boiler, identificado na Figura 3.9, e se estaciona na parte de cima do mesmo estando pronta para o consumo. A água mais fria que se encontrava no Boiler, fica na parte mais baixa deste e desce para o coletor para que seja novamente aquecida e assim o processo se repete. Para que não aconteça o fenômeno inverso (termossifão invertido), em dias nublado ou a noite, o coletor solar deve ficar abaixo do Boiler.

O sistema de termossifão, normalmente é composto por Coletor Solar, Boiler, purgador, vaso expensor e acessórios de conexão e/ou adaptação.



Figura 3.9 - Ilustração termossifão

(Fonte: http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/esquema_termo.gif)

3.4.2 Sistema de Circulação Forçada

Em alguns casos, não é possível colocar o Boiler acima do coletor solar, em outros casos os projetos são muito grandes. Em situações como estas, é necessário utilizar uma bomba movida a energia elétrica para agir na circulação da água. Normalmente esta bomba é automática e leva em consideração a diferença de temperatura entre a água no coletor e a água da parte superior do Boiler. Se essa diferença for igual ou superior a 5 °C, a bomba entra em funcionamento. É possível ver um esquemático na Figura 3.10.

O sistema de circulação forçada, normalmente é composto por Coletor Solar, Boiler, Bomba elétrica, Controlador, purgador, vaso expensor e acessórios de conexão e/ou adaptação.

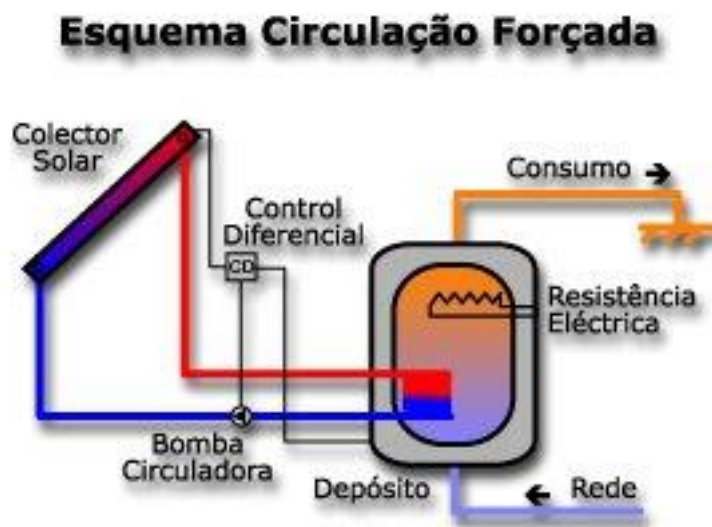


Figura 3.10 - Ilustração Circulação Forçada
(Fonte: http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/esquema_cf.gif)

3.5 Perda de calor na tubulação

A tubulação responsável pelo transporte da água do boiler até o usuário é toda de cobre, isto porque resiste às altas temperaturas da água que passa em seu interior e oferece uma maior segurança e uma menor necessidade de manutenção.

Essa tubulação na maioria das vezes é revestida, porém este revestimento não tem uma eficiência muito grande por conta do tempo de estacionamento da água e por haver uma inevitável troca de calor com o ambiente.

A troca de calor durante a noite, onde normalmente a temperatura é mais baixa por conta da ausência do sol, assim, pela manhã a água da tubulação está abaixo da temperatura da água aquecida do boiler.

O usuário, tem o desconforto de precisar esperar cerca de 2 a 5 minutos (a depender da distância que está do boiler) para que a água saia aquecida do chuveiro, gerando assim um desperdício de água.

3.6 Reservatório Térmico (Boiler)

O Boiler, mostrado na Figura 3.11, funciona como uma caixa d'água, porém, possui a capacidade de manter a temperatura da água em seu interior. Os reservatórios térmicos em sua maioria são construídos por aço inox ou cobre isolado por uma espuma térmica de poliuretano expandido e revestido por chapa de alumínio, para garantir o funcionamento do material isolante, e os pés em termoplástico.

Muitos modelos de Boilers utilizam uma fonte de aquecimento auxiliar. Em seu interior há um circuito com um termostato ligado a uma resistência que é capaz de aquecer a água em dias nublados ou a noite quando porventura a água quente tiver sido utilizada.



Figura 3.11 - Ilustração Boiler

(Fonte: http://www.soletrol.com.br/produtos/reservatorios_termicos.php)

3.7 Automação para chuveiros elétricos

O sistema de Automação atuará junto ao chuveiro elétrico auxiliando o sistema de aquecimento solar.

A temperatura da água será lida antes que chegue ao chuveiro, será analisada levando em consideração uma temperatura de água que traga conforto ao usuário e logo depois, o sistema tomará a decisão de liberar ou não energia elétrica ao chuveiro.

O usuário terá um benefício enorme na utilização do sistema, pois, sempre terá água aquecida quando abrir o registro do chuveiro. Haverá uma economia de água, pois não será mais necessário deixar o chuveiro ligado esperando que a água quente chegue ao mesmo.

CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação prática dos conceitos abordados no Capítulo 3, itens que estão relacionados na construção do protótipo de automação para chuveiros elétricos. É apresentado o modelo protótipo no contexto de uso residencial, o desenvolvimento deste e a descrição da construção, bem como os materiais utilizados.

4.1 Modelo proposto de automação para chuveiros elétricos

O modelo proposto de automação para chuveiros elétricos para uso residencial trará um conforto ao usuário lhe proporcionando um banho quente quase que instantaneamente ao ligar o chuveiro, empregando um novo item ao sistema de aquecimento de água por energia solar, item este que será responsável pelo controle, realizando a leitura da temperatura da água e com base na programação e no parâmetro de temperatura empregado, tomará a decisão de liberar ou não eletricidade para o chuveiro elétrico.

O projeto de automação para chuveiros elétricos possui uma aplicação que será executada pelo microcontrolador Arduino. Esta aplicação é responsável pelo controle de temperatura e pelo acionamento de um circuito elétrico ligado ao módulo de relés. Neste projeto, a temperatura de parâmetro é inserida manualmente no código, e só poderá ser alterada levando o protótipo até um computador e carregando o Arduino novamente com outro código contendo o novo valor de parâmetro, isto, visando um baixo custo por se tratar de um protótipo. Para comercialização, o produto final ideal deve utilizar uma tela LCD e dois botões, um para aumentar e outro para diminuir a temperatura do parâmetro.

Na Figura 4.1 é apresentado um modelo geral do protótipo incluído no contexto geral do sistema de aquecimento de água por energia solar.

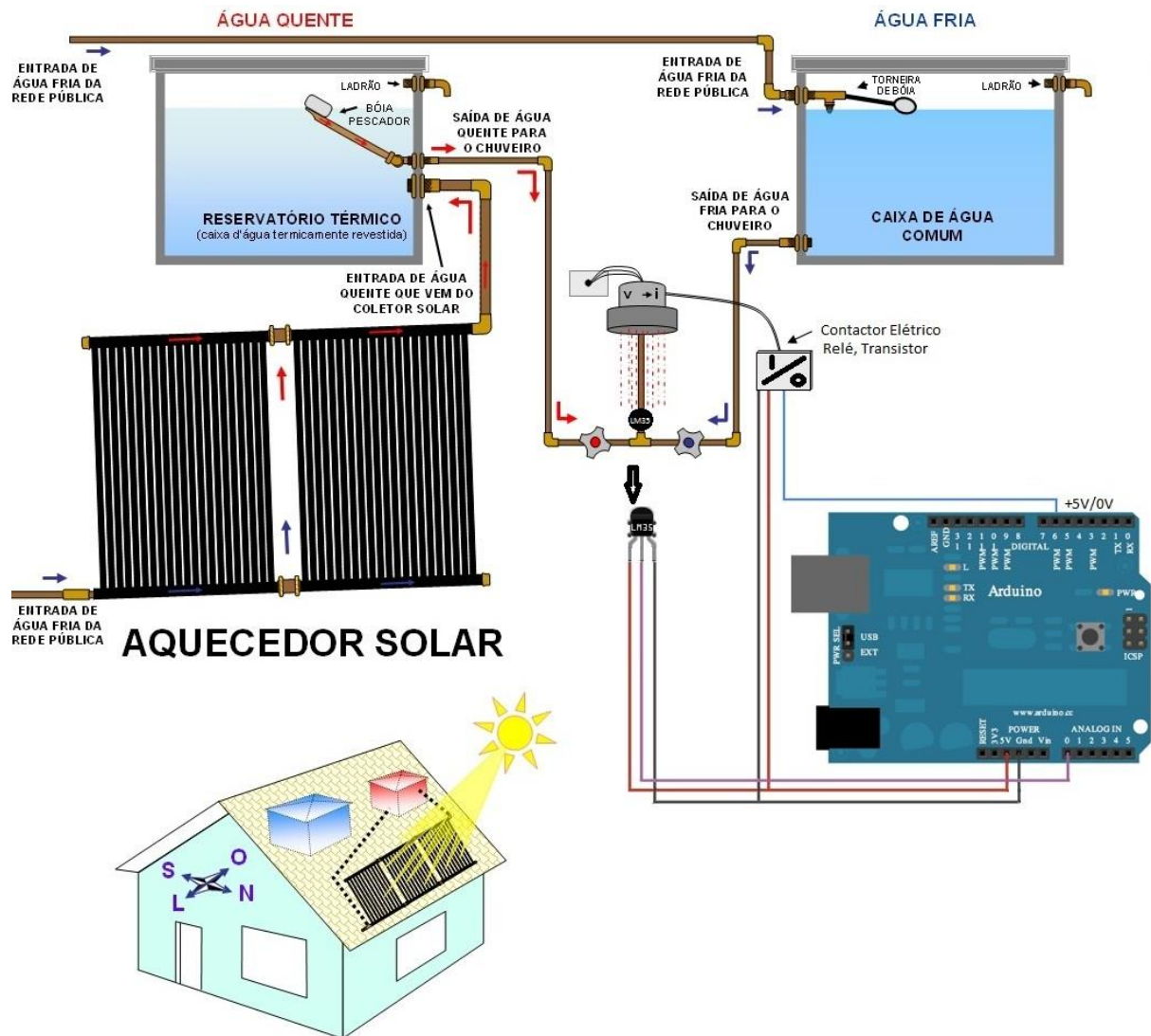


Figura 4.1 - Modelo Geral
(Autor: Thiago Menezes)

4.2 Software de controle de temperatura e automação - Arduino

Utilizando a IDE Arduino, foi desenvolvido o software (descrito no Apêndice - A) que faz o controle da temperatura utilizando as informações lidas pelo sensor de temperatura LM35, transmitindo essa temperatura ao microcontrolador que liga ou desliga o circuito elétrico através do módulo de relés.

Na programação para Arduino, o trecho fora de funções serve para iniciar variáveis com determinados valores. Desta forma, o valor de temperatura máxima em que o software irá considerar para acionar ou não o módulo de relés é um valor inserido manualmente e diretamente nesta área. Neste trecho também é iniciada a

variável responsável por receber o valor vindo do pino 0 que é o valor da leitura da temperatura pelo sensor LM35 e também a variável identificadora do pino 13.

O Arduino possui uma função SETUP, nesta função, é feita a configuração das portas e pinos a serem utilizadas. Sendo assim, a porta digital 13 do Arduino é configurada, esta é a porta que vai ser responsável pela conexão com o módulo de relés, pelo qual o circuito do chuveiro elétrico será ligado ou desligado. É configurada também a porta serial 0, que será responsável pela entrada de dados vindos do sensor de temperatura LM35.

Existe uma função responsável pelo ciclo de trabalhos do software no Arduino, esta função é a função LOOP. Nela é feita a leitura da temperatura por meio do comando "analogRead(pinoZero)", a variável "pinoZero" é carregada com o valor "0" indicando que a porta de leitura da temperatura onde o sensor LM35 estará ligado. Há uma estrutura de repetição na leitura de valores para que seja calculado uma média e para que assim seja obtida uma melhor precisão no momento dos testes baseados nestes valores.

Ainda na função LOOP, é feito o teste da temperatura, o resultado deste teste, executa o comando "digitalWrite(led, HIGH)" ou "digitalWrite(led, LOW)", onde "led" representa o pino digital 13, e é neste pino que o Arduino irá ligar ou desligar o circuito elétrico do chuveiro.

este número de leituras o valor da média estava bem próximo do valor real da temperatura lido pelo multímetro digital.

Para o acionamento do circuito elétrico, foi utilizado um módulo de relés. O Arduino, compara a média de temperatura lida pelo sensor LM35 com a temperatura de referência, se menor ou maior, envia o comando para que o módulo de relés ligue ou o desligue o circuito elétrico. A alimentação do módulo de relé é feita pelo Arduino, conectando as portas de alimentação +5V e o terra (GND). A informação é transferida do Arduino para o módulo através da porta 13 do primeiro para a chave 1 do segundo. O circuito elétrico é ligado ao módulo de relés pelas portas "Normalmente Aberta" e na porta "Comum". Um fio é ligado na rede elétrica e na lâmpada, o outro fio ligado a rede elétrica é dividido em dois, uma metade é ligada na lâmpada e na porta "Comum" e a outra metade é ligada na porta "Normalmente Aberta" e na energia elétrica. A porta restante, "Normalmente Fechada", não foi utilizada. A Figura 4.3 ilustra o esquema elétrico montado ao Arduino.

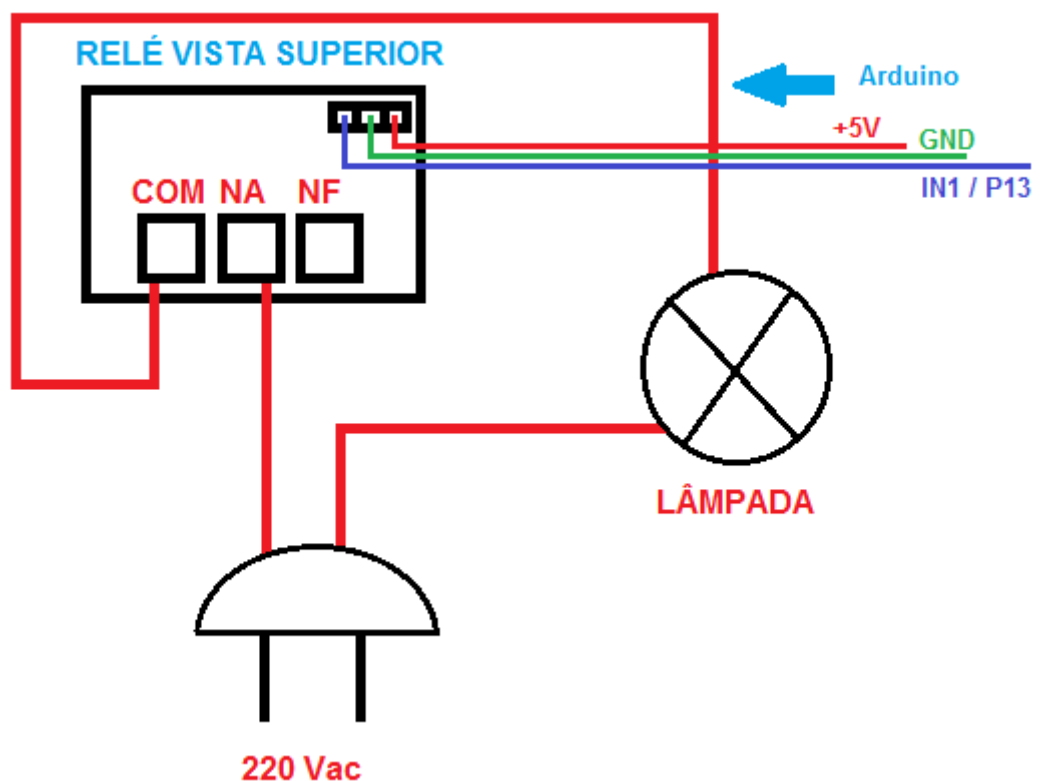


Figura 4.3 - Esquema Arduino - Relé - Lâmpada
(Autor: Thiago Menezes)

CAPÍTULO 5 TESTES E RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo mostrar a descrição dos testes realizados no protótipo de Automação para Chuveiros Elétricos, no software que realiza o controle da temperatura e o acionamento do circuito elétrico, visando verificar os resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo descrito nos capítulos 3 e 4.

5.1 Testes Realizados para o Protótipo

O detalhamento dos testes mostram a evolução na fase de desenvolvimento e alguns dos problemas encontrados e corrigidos durante este período.

O primeiro e o terceiro cenário foram utilizados no desenvolvimento e serviram para calibrar a leitura e ajustar o software para tomada de decisão. Já o segundo e o quarto cenário mostram a aplicação do protótipo desenvolvido interagindo com a água, tornando assim os resultados mais próximos do que será obtido na aplicação real do protótipo em um chuveiro elétrico.

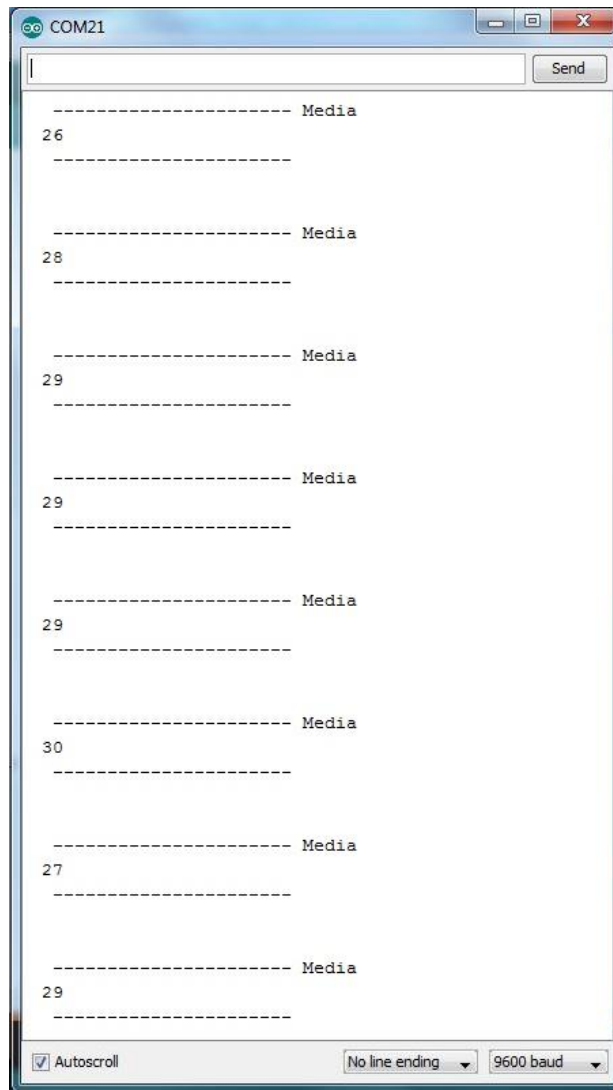
Em todos os quatro cenários testados, o hardware foi o mesmo, houve modificações no software para que o hardware se adaptasse a situação de cada cenário.

5.1.1 Primeiro Cenário - Teste seco

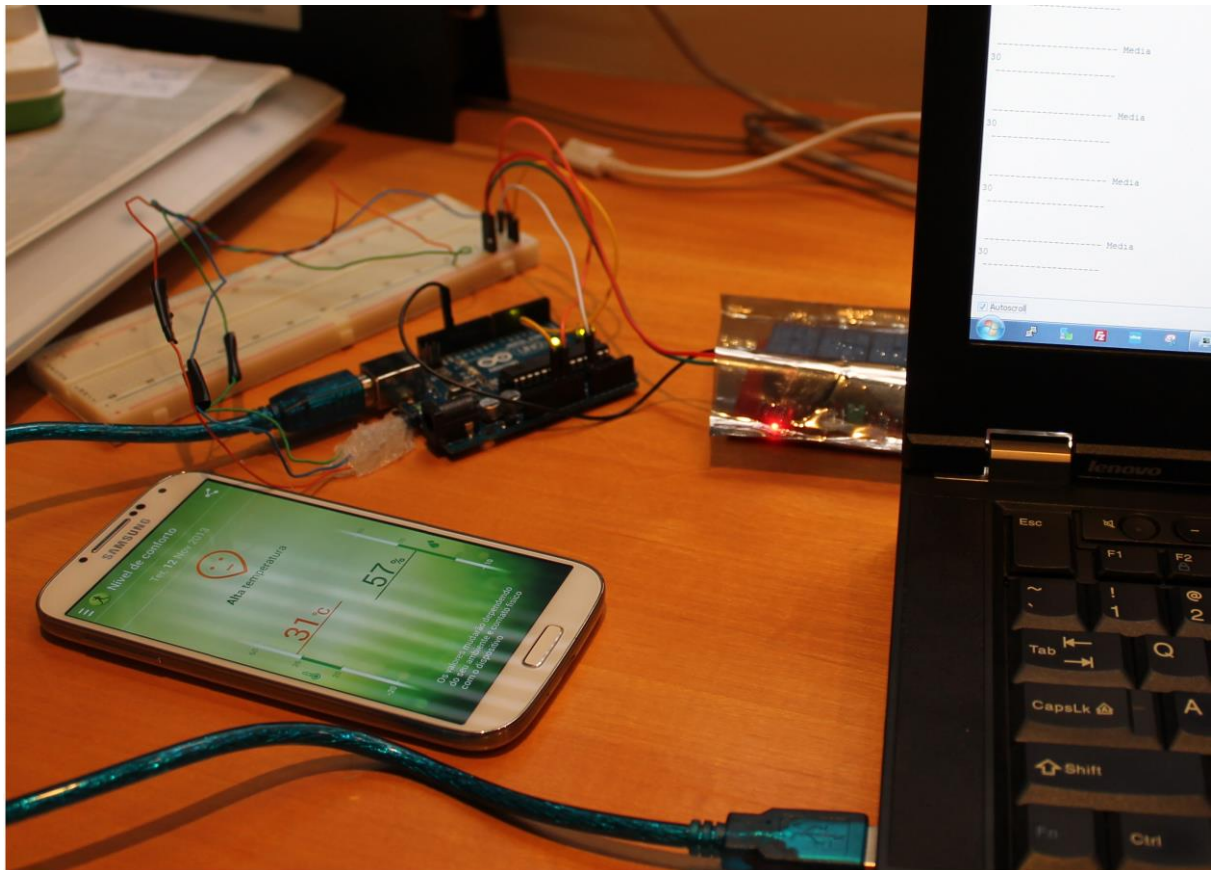
Neste cenário, o teste realizado tem por objetivo testar a lógica de programação e o funcionamento do hardware. Assim sendo, o sensor LM35 ficou exposto a temperatura ambiente, numa sala fechada para minimizar deslocamentos de ar e variações grandes de temperatura. O sensor LM35 foi tocado com a ponta do dedo e o resultado foi testado com uma temperatura de parâmetro e o canal do Relé acendeu como programado.

A temperatura ambiente medida pelo sensor LM35 variava de 26 a 30 graus Celsius, como se pode ver na Figura 5.1. Para haver um parâmetro de comparação,

foi utilizado o SmartPhone Galaxy S4 que vem equipado com um sensor de temperatura e outro de umidade. Na Figura 5.2, é possível ver que a temperatura lida pelo LM35 e pelo SmartPhone são similares, o que mostra que a temperatura lida pelo sensor do protótipo é confiável.



**Figura 5.1 - Leitura de Temperatura ambiente do primeiro cenário
(Autor: Thiago Menezes)**



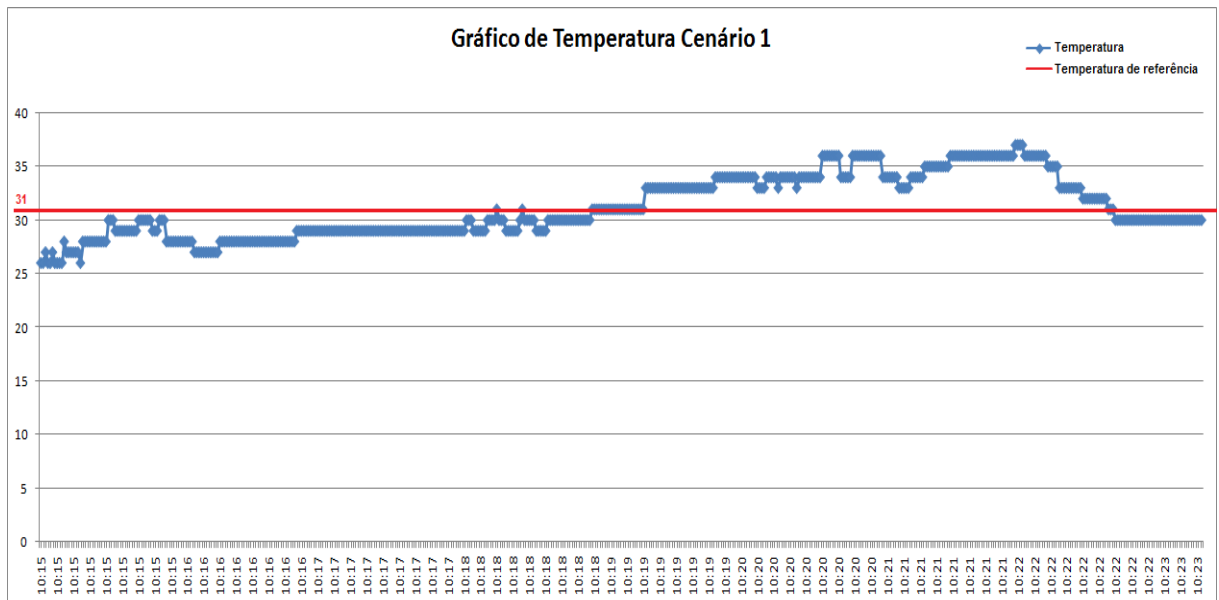
**Figura 5.2 - Comparativo sensor LM35 e Smartphone
(Autor: Thiago Menezes)**

A temperatura de referência neste teste era de 31 graus Celsius, assim que o sensor captou esta temperatura, o Arduino enviou o comando que ativou o primeiro canal do Relé. Assim que a temperatura baixou da referência, o LED mostrou que o sinal foi interrompido no primeiro canal do Relé.

Devido a quantidade de leituras para que se possa fazer a média, notou-se que o Arduino leva em média um segundo para cada mudança de temperatura, mas esta mudança não é seqüenciada, ou seja, o crescimento ou decréscimo da temperatura não é seriado. Quando o mesmo estava lendo a temperatura ambiente e o contato com o corpo o fez mudar sua leitura, ele rapidamente mostra mudança, porém, há saltos nas leituras até que se entre em equilíbrio com a temperatura do corpo.

Na Figura 5.3, é possível ver o crescimento da temperatura a partir de o momento que há o toque no sensor, bem como o período em que a temperatura

ultrapassou a temperatura de parâmetro, demonstrado pela linha vermelha, indicando que o primeiro canal do relé estava ativado.

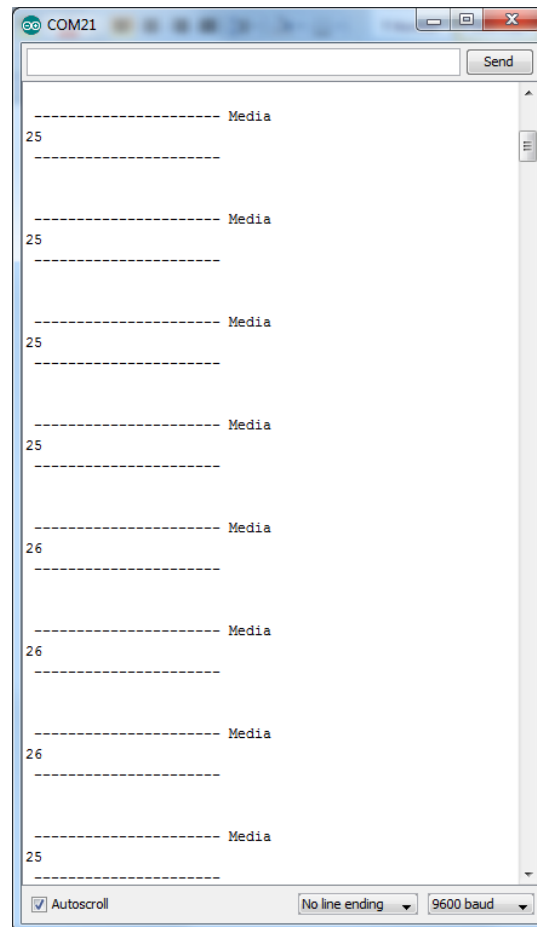


**Figura 5.3 - Gráfico de temperatura do primeiro cenário
(Autor: Thiago Menezes)**

5.1.2 Segundo Cenário - Teste na água

Neste cenário, o teste realizado visou testar a iteração do sistema com a água. O sensor LM35 foi mergulhado na água, esta por sua vez gelada e com pedras de gelo para manter a temperatura. O teste de temperatura foi ajustado para calcular o aquecimento da água, quanto esta chegasse a temperatura de parâmetro, o Arduino deveria parar de fornecer sinal a porta de saída para o módulo de Relés.

A temperatura ambiente variava entre 25 e 26 graus Celsius como se pode ver na Figura 5.4. A temperatura de referência para este teste foi de 02 graus Celsius.



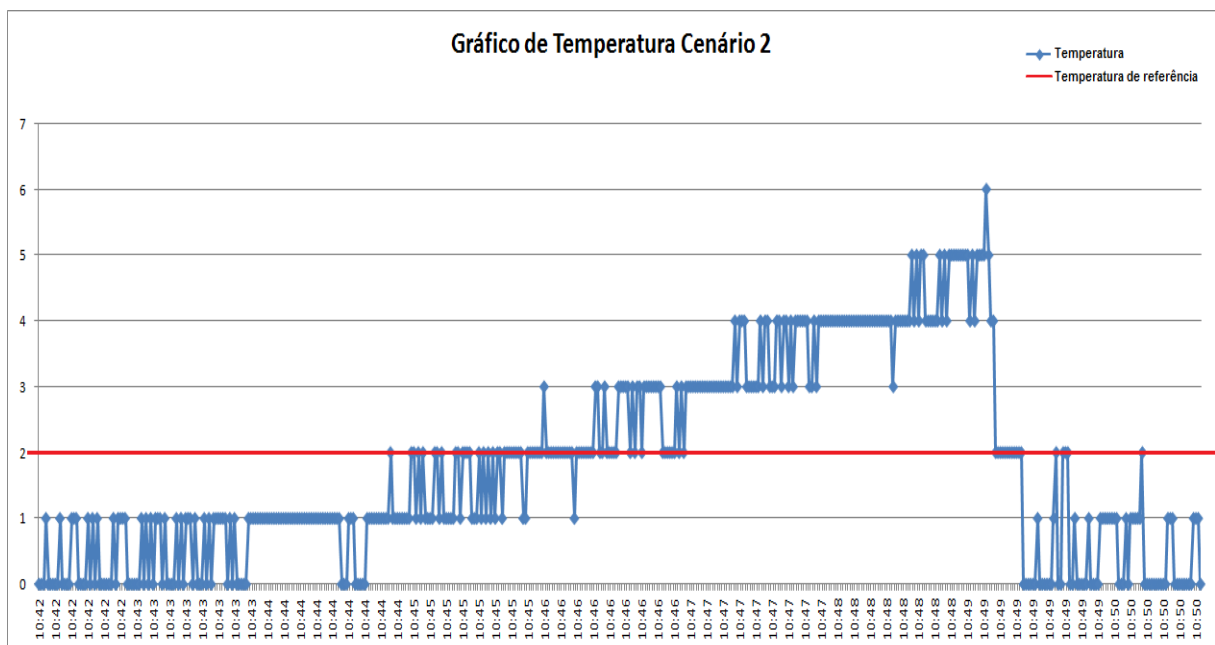
**Figura 5.4 - Leitura de temperatura ambiente do segundo cenário
(Autor: Thiago Menezes)**

O protótipo em princípio funcionou como esperado, porém, ao colocar o sensor na água, começou a ler uns valores muito diferentes de temperatura, hora bastante baixos, hora absurdamente altos. O primeiro pensamento foi de que a água estivesse causando um curto circuito ou causando alguma interferência. Foi então desligado todo o sistema, toda a fiação foi re-feita. Ficou claro que o fio, responsável por levar a informação do Sensor LM35 a porta Analógica do Arduino, quando em movimento gera bastante interferência e ainda mais interferência se este fio fica mal encaixado.

Com este problema solucionado, foi possível realizar a leitura de temperatura da água fria. O Sensor LM35 foi colocado dentro d'água e o mesmo ficou lendo uma variação entre 0 e 1 grau Celsius. Enquanto isso o primeiro canal do relé permaneceu com o LED ligado indicando que o circuito elétrico permaneceria ativo. Foram adicionadas pequenas porções de água em temperatura ambiente para agilizar

o aumento da temperatura, assim que a água alcançou e ultrapassou a temperatura de 2 graus Celsius, o LED do relé apagou, mostrando assim que o fornecimento de energia elétrica seria interrompido. Logo que o sensor voltou a captar a temperatura inferior a 2 graus Celsius, o LED acendeu de novo mostrando que quando a temperatura volta a baixar o fornecimento de energia elétrica é necessário novamente.

Na Figura 5.5, é possível ver a variação de temperatura, a temperatura de parâmetro evidenciada e o período em que a temperatura foi igual ou maior do que a temperatura de parâmetro (linha vermelha), indicando que o protótipo desligou o circuito elétrico.



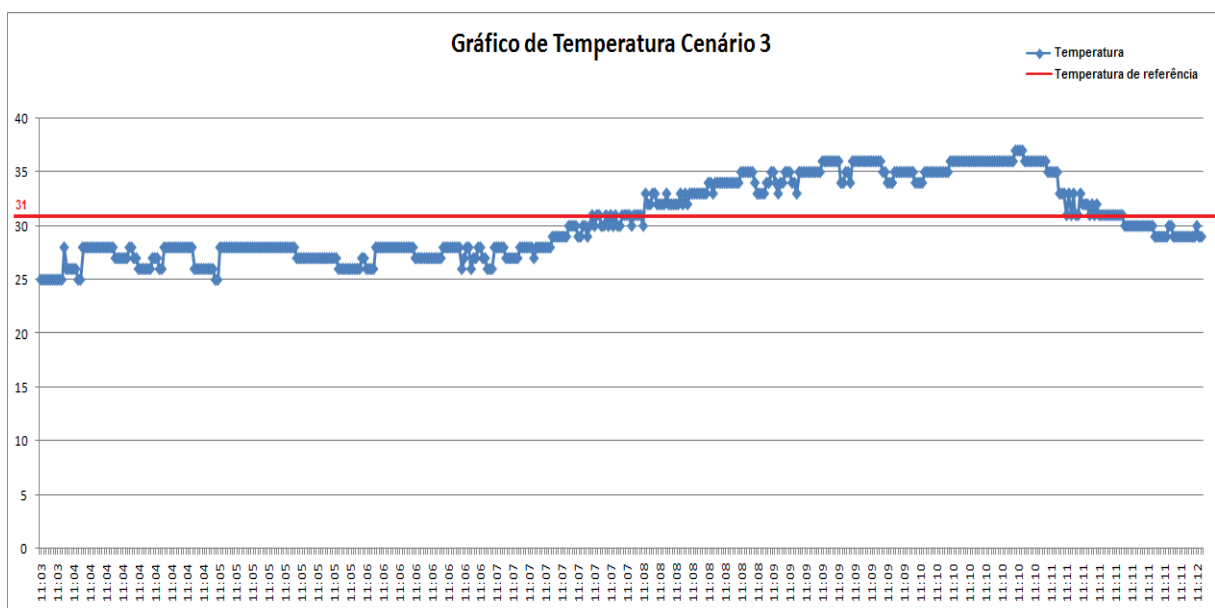
**Figura 5.5 - Gráfico de temperatura do segundo cenário
(Autor: Thiago Menezes)**

5.1.3 Terceiro Cenário - Teste seco com energia elétrica

O objetivo deste teste era atuar junto a energia elétrica para assegurar que o protótipo cumpriria seu objetivo de desenvolvimento. Na Figura 4.3 é mostrado o esquema montado entre o Arduino, o módulo de Relés e a Lâmpada. Foram usados novamente a temperatura a ambiente e o valor do corpo no teste.

A temperatura ambiente medida neste teste variou de 25 a 28 graus Celsius. Foi usado como referência a temperatura de 31 graus Celsius. Assim que a temperatura de referência foi alcançada, a lâmpada acendeu; quando a temperatura ficou abaixo de 31 graus Celsius, a lâmpada apagou.

A Figura 5.6, mostra a variação da temperatura, o aumento quando tocado e o período em que a temperatura está acima da temperatura de ativação do relé (linha vermelha).



**Figura 5.6 - Gráfico de temperatura do terceiro cenário
(Autor: Thiago Menezes)**

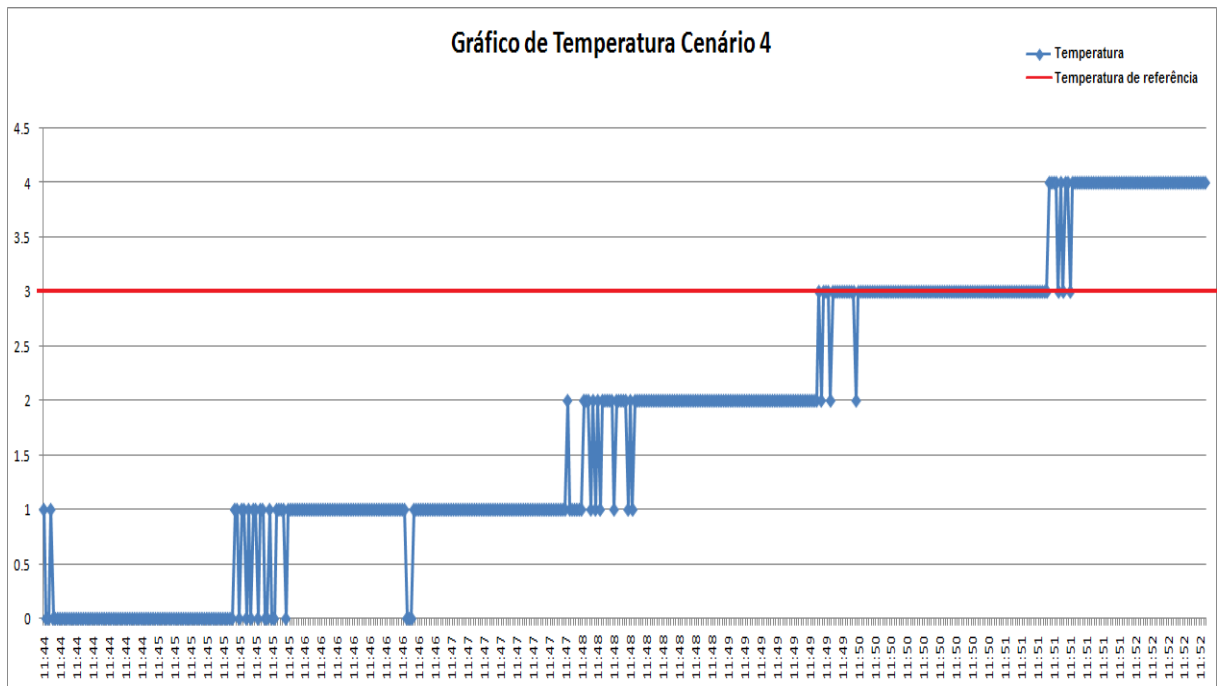
5.1.4 Quarto Cenário - Teste na água com energia elétrica

Desta vez os parâmetros foram novamente ajustados e o sensor LM35 mergulhado na água. Os parâmetros utilizados não foram os do Segundo Cenário. A temperatura lida na água foi de 0 a 1 grau Celsius, e a temperatura de referência foi de 3 graus Celsius.

Também foram adicionadas pequenas porções de água em temperatura ambiente para agilizar o aumento da temperatura, enquanto a temperatura foi menor

do que 3 graus Celsius, a lâmpada permaneceu acesa, assim que um valor maior que referência foi captada, a lâmpada se apagou completando o objetivo do teste.

A Figura 5.7 mostra a variação de temperatura, a temperatura de parâmetro evidenciada e o período em que a temperatura foi igual ou maior do que a temperatura de parâmetro (linha vermelha), indicando assim quando o circuito foi desligado.



**Figura 5.7 - Gráfico de temperatura do quarto cenário
(Autor: Thiago Menezes)**

O resultado esperado, que comprova a eficiência do modelo proposto foi exposto no cenário 4.

Utilizando o código disponibilizado no Apêndice A, a uma temperatura ambiente variando entre 25 e 26 graus Celsius, o sensor de temperatura LM35 foi mergulhado na água e leu corretamente sua temperatura utilizando a função "analogRead()" ao apontar o pino onde a informação está entrando, no caso deste projeto, o pino zero. A temperatura estava variando entre 0 e 1 grau Celsius.

No código há um acumulador com o objetivo de se obter o melhor resultado de temperatura, o valor lido foi colocado no array "amostra[i]" a cada uma das dez iterações, logo depois o valor foi somado e colocado na variável acumuladora "temp

= temp + amostra[i];". Após dez leituras, foi feita a média simples do valor acumulado e o valor registrado na variável "tempCalc", "tempCalc = temp / 10;".

Com o valor da média, foi feito o teste para saber se a lâmpada iria ficar acesa ou apagada. Se o valor da média fosse menor ou igual o valor "max" que é o valor informado de parâmetro, neste cenário o parâmetro foi de "3" graus Celsius, então o Arduino utilizando a função "digitalWrite" enviou o sinal HIGH para a porta 13, representada no código com o nome de "led", "digitalWrite(led, HIGH);", desta forma o módulo de relé em seu primeiro canal liberou energia elétrica e acendeu a lâmpada.

Assim que a temperatura lida foi maior que o parâmetro informado, o Arduino enviou o comando, "digitalWrite(led, LOW);", para desligar a lâmpada. O teste é feito continuamente e sem interrupções, sendo assim, logo que a temperatura lida foi menor ou igual ao parâmetro novamente, o Arduino enviou sinal para que a lâmpada fosse novamente ligada, o que evidencia também o caminho inverso. De forma prática, significa que uma vez a água estando na temperatura "agradável" e a mesma esfriar, o produto entra em ação novamente.

5.2 Dificuldades Encontradas / Soluções

Esta seção traz as principais dificuldades e as soluções aplicadas nas etapas de desenvolvimento e testes do protótipo e seu software.

5.2.1 Sensor LM35

O sensor tomou um grande tempo durante todo o processo de desenvolvimento e testes.

O primeiro motivo foi a dificuldade de isolar o mesmo para que a água não causasse nenhum problema. A cola de silicone da marca CASCOLA de nome FLEXITE INCOLOR foi escolhida para fazer o isolamento, esta cola tem uma resistência térmica de -30 a 120 graus Celsius, segundo informado pelo fabricante no rótulo da embalagem. A aplicação deste material no sensor não se mostrou uma tarefa simples, pois é necessário distribuir uniformemente a cola e fazer um acabamento

com muito cuidado para que não sobre bolhas no interior, estas provocam furos depois do material seco.

A segunda dificuldade encontrada foi nas leituras de temperatura, o sensor é bastante sensível, então qualquer deslocamento de ar o faz modificar sua leitura, a solução encontrada foi realizar várias leituras num curto intervalo de tempo (100 ms) para que fosse calculada uma média destes valores e assim uma maior coerência nos resultados.

A terceira dificuldade foi algumas interferências em alguns momentos na leitura, vez o outra o sensor apresenta algumas temperaturas muito discrepantes as lidas imediatamente antes destas. Por exemplo, o sensor fazia leituras da temperatura ambiente com poucas variações de 1 ou dois graus Celsius, e de repente lia uma temperatura maior que 100 graus Celsius, e do mesmo modo, voltava a ler a temperatura correta. Para resolver isso foi colocado um resistor de 10K Ohms entre a saída GND do Arduino e V_{out} do sensor LM35.

5.3 Resultados Obtidos

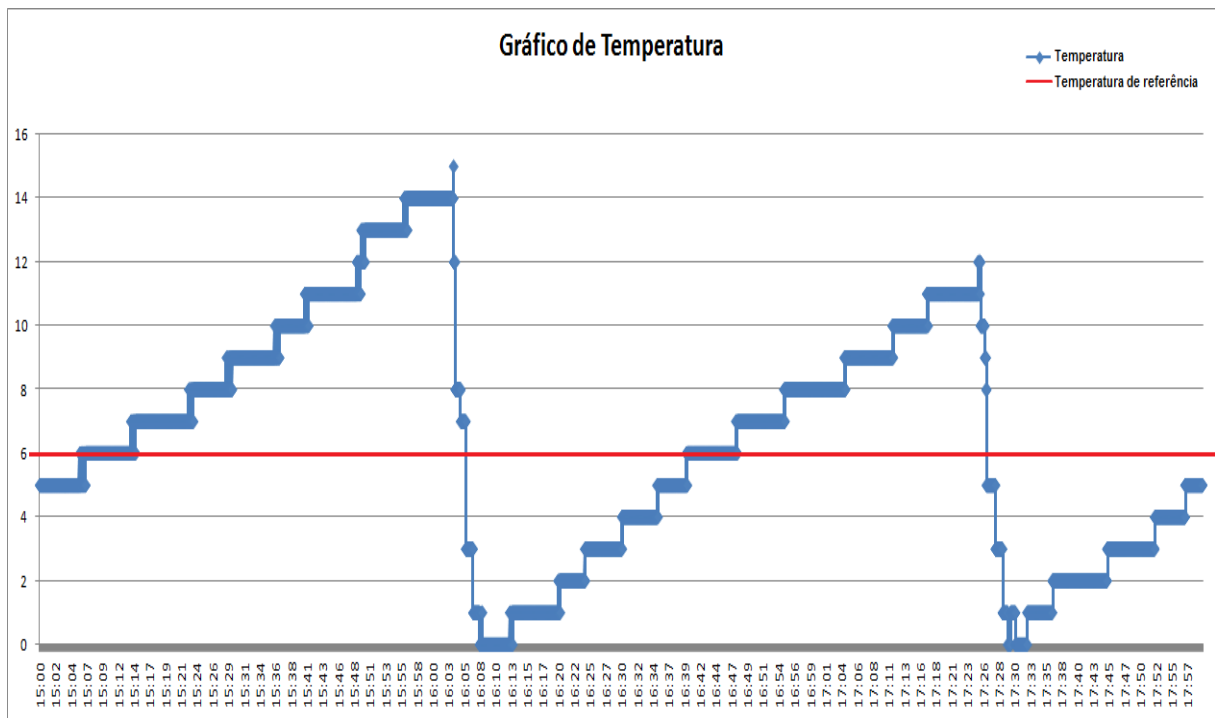
5.3.1 Leitura das temperaturas

Com o intuito de avaliar o funcionamento do protótipo, foi realizado um teste de 3 horas de duração, onde o Arduino conectado pela porta USB do computador ficou apresentando os resultados de temperatura lidos pelo Sensor de temperatura LM35.

O teste teve início no dia 16 de Novembro de 2013, às 15:00 e seu fim às 18:00. A temperatura ambiente lida pelo Arduino variava entre 24 e 26 graus Celsius. A atividade consistia em deixar o sensor de temperatura dentro d'água, de início gelada, com uma temperatura de parâmetro de 6 graus Celsius. A medida que a temperatura da água fosse aumentando, aguardava-se para certificar o desligamento do primeiro canal do módulo de Relé. Logo depois, foi colocado gelo na água para abaixar sua temperatura e assim o primeiro canal do módulo de Relé fosse novamente ligado.

Assim foi feito ao longo das 3 horas. Em tempos aleatórios foi utilizado um multímetro digital para se ter certeza de que a leitura de temperatura do sensor LM35 estava correta. No período do teste foram feitas duas intervenções com gelo, e foi possível perceber que o protótipo sempre cumpriu a tarefa de ligar e desligar o circuito elétrico corretamente.

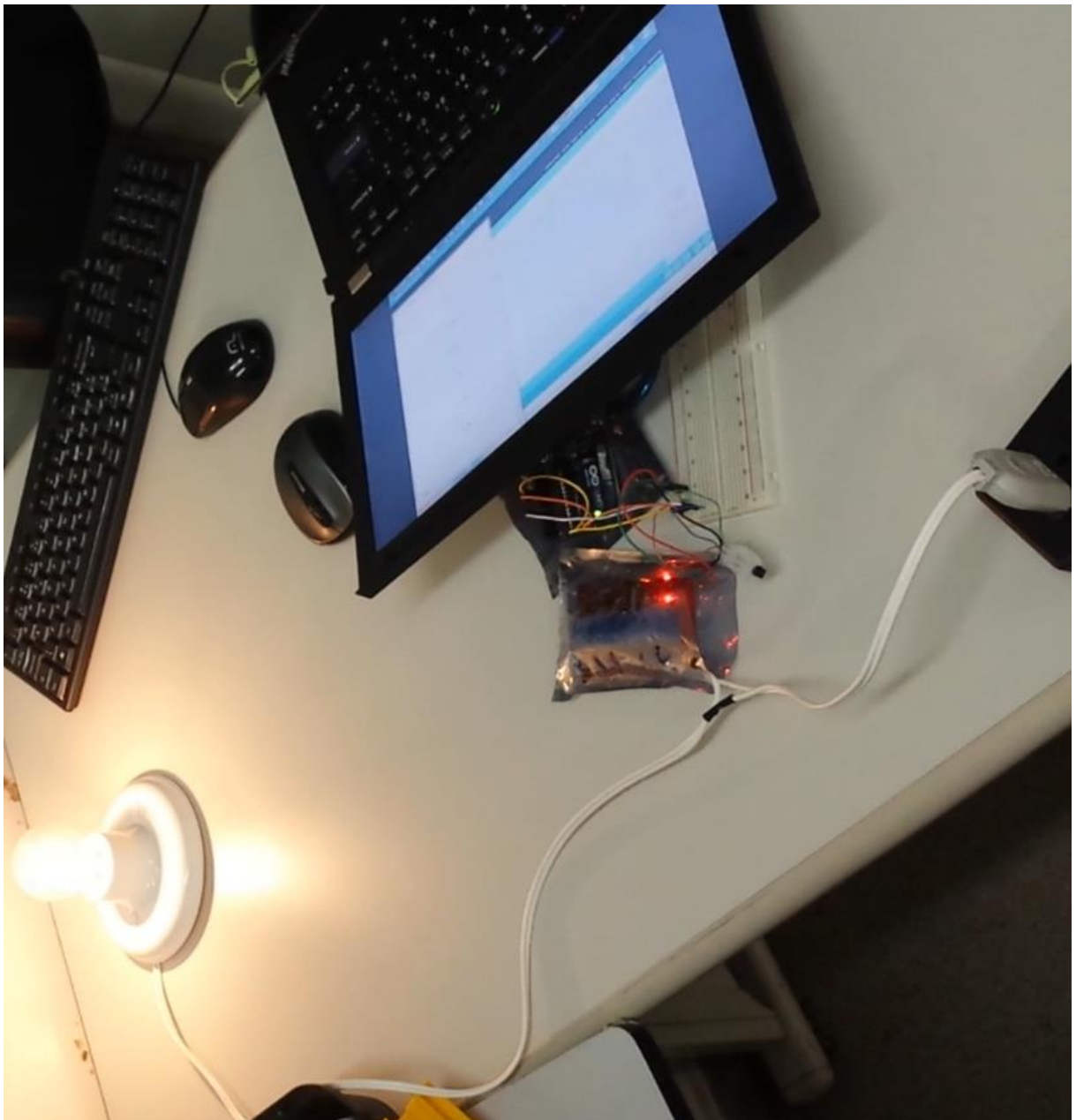
Na Figura 5.8 é possível ver a variação da temperatura apresentada ao longo do teste, a linha vermelha é a linha da parâmetro utilizado, as temperaturas que coincidem ou são superiores a linha, indicam que o circuito elétrico estava desligado, já as abaixo indicam que o circuito elétrico estava ligado.



**Figura 5.8 - Gráfico de leitura de temperatura
(Autor: Thiago Menezes)**

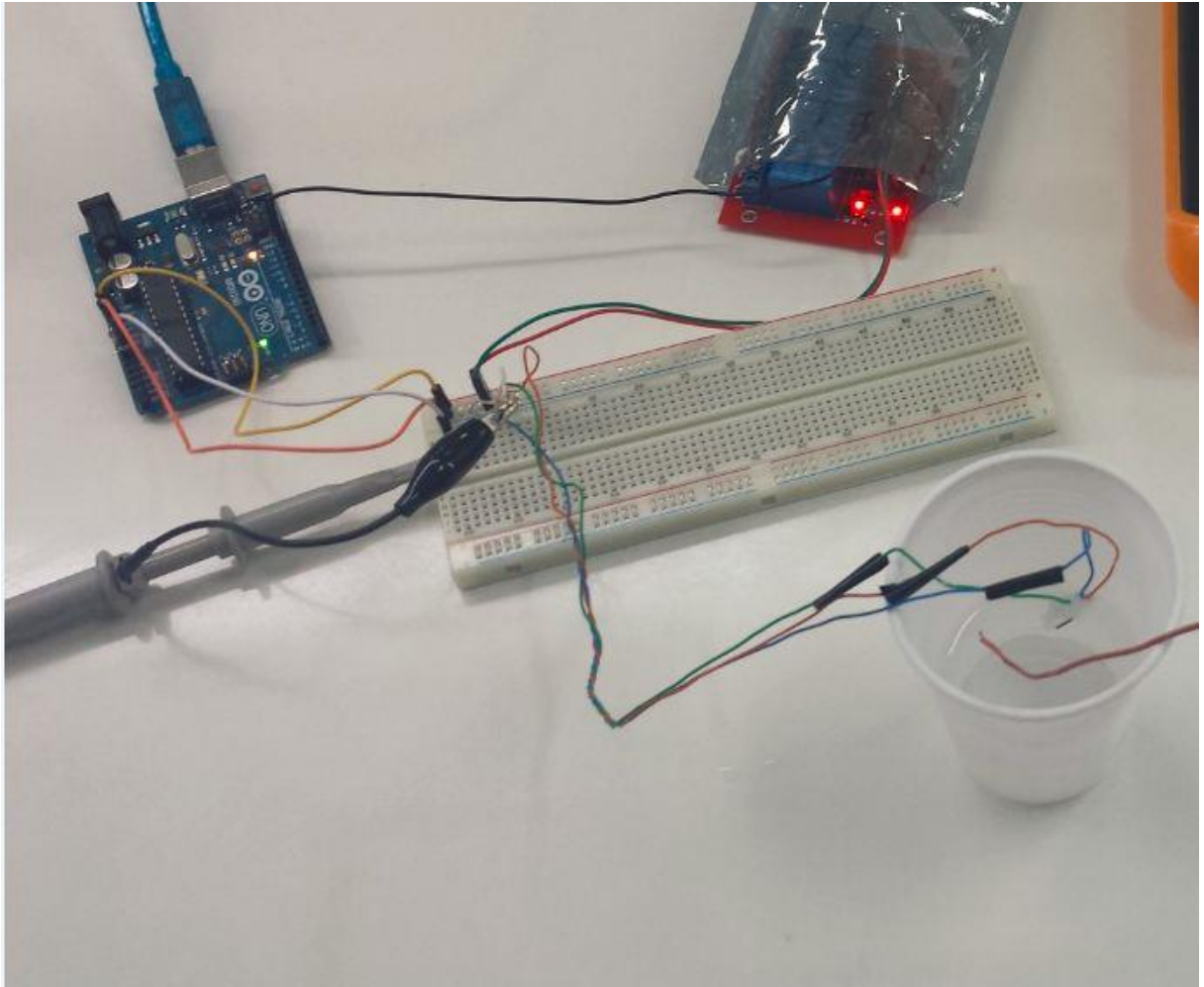
5.4 Protótipo

Este trabalho proporcionou o desenvolvimento de um protótipo de Automação para chuveiros elétricos composto por um Arduino Uno, módulo de relés, um sensor de temperatura LM35 e uma lâmpada incandescente. Na Figura 5.9 é mostrado o protótipo onde se tem o circuito elétrico envolvido.



**Figura 5.9 - Protótipo e circuito elétrico
(Autor: Thiago Menezes)**

Na Figura 5.10 é mostrado o protótipo com o sensor LM35 mergulhado na água.



**Figura 5.10 - LM35 mergulhado na água
(Autor: Thiago Menezes)**

5.5 Produto Gerado

O produto gerado com este trabalho foi um protótipo de Automação para chuveiros elétricos em sistemas de aquecimento solar, de uso residencial. O produto possui um sensor de temperatura que deve ser inserido na tubulação o mais próximo possível do chuveiro elétrico, e um módulo de relé onde este chuveiro deve ser ligado. A alimentação é fonte de alimentação de 5V.

A Tabela 5.1 mostra os materiais utilizados no protótipo e seus valores.

Material	Quantidade	Custo (R\$)
Arduino UNO	1	R\$ 59.90
LM 35DZ	1	R\$ 3.30
Módulo de Relés 5V - 4 Ch	1	R\$ 34.90
RESISTOR DE FILME DE CARBONO 10K	1	R\$ 0.04
Jumpers Macho-Fêmea	1	R\$ 13.90
Total (R\$)		R\$ 112.04

Tabela 5.1 - Materiais/Valores
(Autor: Thiago Menezes)

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES

Este capítulo trata das considerações finais a respeito do trabalho desenvolvido ao longo deste projeto e apresenta propostas para futuros trabalhos nesta mesma área.

6.1 Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de Automação para Chuveiros elétricos em sistemas de aquecimento solar. Também foi desenvolvido um software para controle de temperatura e tomada de decisão.

Os testes realizados em ambiente seco bem como os testes realizados na água levam a conclusão de que o objetivo geral do projeto foi atingido, visto que foi desenvolvido um sistema, hardware e software, que pode ser somado ao sistema de aquecimento de água por energia solar trazendo um maior conforto ao usuário no momento de seu banho.

No tocante aos objetivos específicos, foi atingido o objetivo de desenvolver um software e um hardware e de forma automatizada ler a temperatura da água através do sensor LM35, de codificar esta temperatura, de testá-la em relação ao parâmetro de temperatura máxima aceita e fazer com que o Arduino envie o sinal de ligar ou desligar (por intermédio do módulo de relés) uma lâmpada ligada a energia elétrica.

O hardware utilizando o microcontrolador Arduino Uno para controlar tanto o sensor de temperatura quanto o módulo de relés, também atingiu seu objetivo.

O Arduino apresenta uma IDE de desenvolvimento cheia de recursos, um recurso inclusive muito utilizado neste trabalho, foi o "Serial Monitor", que mostra na tela do computador os valores lidos pelo sensor de temperatura.

O sensor de temperatura LM35, apesar de sua alta sensibilidade a mudanças de temperatura e alta facilidade em ter interferência no sinal, funcionou bem neste trabalho, visto que a demora causada pelo acumulador de leituras, para

que fosse possível fazer a média e assim minimizar as variações de temperatura, não foi sentida nos testes utilizando água.

O módulo de relés também funcionou como esperado, sempre que o Arduino enviou o comando de ligar ou desligar, o mesmo obedeceu deixando ou não que a energia elétrica chegasse até a lâmpada.

O software desenvolvido atingiu seu objetivo, recebeu os dados de leitura através da porta analógica 0 utilizando a função "analogRead(pinoZero)", tratou estes dados multiplicando o valor lido por 5, que é a resolução do Arduino e depois por 1024, que é a conversão da porta analógica feita para o Arduino de 10 bits. Então com o valor convertido e multiplicado por 100 para que as casas decimais fiquem na ordem correta, o valor acumulado foi testado se menor ou maior com o parâmetro e sempre escolheu a opção correta para acionar ou não o circuito elétrico da lâmpada.

6.2 Sugestões para Futuros Projetos

Uma boa modificação a este projeto seria fazer com que um só Arduino atuasse em todos os banheiros da residência, pois já que sobraram 5 entradas analógicas e 3 canais do módulo de relés, poderiam ser automatizados outros 3 chuveiros elétricos. Para isto seria necessário uma nova programação pois estas novas entradas teriam que ser tratada, acumuladas e suas médias calculadas individualmente.

Seria interessante para melhoraria da interação do usuário com o sistema, a inclusão de um mostrador digital e botões para que o usuário conseguisse alterar facilmente a temperatura de parâmetro e pudesse ver a temperatura cadastrada.

Seria uma ótima opção também a inclusão de um atuador mecânico para o registro do chuveiro, isto faria com que fosse possível temperar a água automaticamente utilizando parâmetros de conforto informados pelo usuário.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. Disponível em <Fonte: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: agosto de 2013.
- ARDUINO. Disponível em <Fonte: <http://multilogica-shop.com/Arduino-Uno-R3>>. Acesso em: setembro de 2013.
- ARDUINO. Disponível em <Fonte: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/megaavr.aspx>>. Acesso em: setembro de 2013.
- CIRCULAÇÃO FORÇADA. Disponível em <Fonte: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_area=26>. Acesso em: setembro de 2013.
- ENERGIA SOLAR. Disponível em <Fonte: <http://www.astrosol.com.br/sobre-nos/energia-solar>>. Acesso em: setembro de 2013.
- Kemp, Clarence. *Apparatus For Utilizing The Sun S Rays For Heating Water*. 1891. Disponível em <<http://www.google.com.br/patents?id=4QRIAAAAEBAJ&zoom=4&dq=Clarence%20M.%20Kemp&hl=pt-BR&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: agosto de 2013.
- LM35. Disponível em <Fonte: <http://www.webtronico.com/lm35-sensor-de-temperatura.html>>. Acesso em: setembro de 2013.
- LM35. Disponível em <Fonte: <http://www.eletronica.com/lm35-sensor-de-temperatura/>>. Acesso em: setembro de 2013.
- RAMALHO, NICOLAU, TOLEDO. **Os Fundamentos da Física 2**. 9 ed. Moderna 2007.
- TERMOSSIFÃO. Disponível em <Fonte: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_area=26>. Acesso em: setembro de 2013.
- TIPLER, Paul. **Física para Cientistas e Engenheiros**: Mecânica, Oscilações, Ondas e Termodinâmica- volume I . 5 ed. LOCAL: LTC, 2009.

APÊNDICE - A

No Apêndice A é mostrado o código utilizado no Arduino.

```
/*  
DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS  
*/  
  
int pinoZero = 0; // pino analógico  
int max = 4; // setando a temperatura de conforto  
int temp = 0; // variável para leitura da temperatura  
int tempCalc = 0; // variável para cálculo da média das temperaturas  
int amostra[10]; // combo de leitura da temperatura  
int i = 0; // variável de iteração  
  
// habilitando o pino digital 13 (por ter o LED conectado)  
int led = 13;  
  
/*  
INÍCIO DO PROGRAMA  
*/  
  
void setup() {  
    // inicia a comunicação serial  
    Serial.begin(9600);  
    // inicializa o pino digital como saída  
    pinMode(led, OUTPUT);  
}
```

```

void loop() {

    // pegando 10 amostras de temperatura para uma melhor precisão
    for(i = 0;i<=9;i++){

        // lendo a temperatura com o analogRead do pino 0 e colocando o
        resultado na var amostra[i]

        // resolução do Arduino 5v / 1024
        amostra[i] = ( 5.0 * analogRead(pinoZero) * 100.0) / 1024.0;
        temp = temp + amostra[i];
        delay(100);

    }

    // calculando a média das temperaturas
    tempCalc = temp / 10;

    /*
    // verificando se a temperatura é menor do que a temperatura máxima
    // significa que o reley elétrico será acionado
    */

    if(tempCalc <= max){
        // liga o LED para indicar que o reley será acionado
        digitalWrite(led, HIGH);
        delay(200);
    } else {

```

```
// então a temperatura da água esta quente o suficiente
// desliga o LED para indicar que o reley não será acionado
digitalWrite(led, LOW);
delay(200);
}

//zerando o acumulador de temperatura
temp = 0;
tempCalc = 0;
}
```